

XVI ERIAC
DECIMOSEXTO ENCUENTRO
REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ

17 al 21 de mayo de 2015



C1-20

Comité de Estudio C1 - Desarrollo de Sistemas y Economía

PLANIFICACIÓN DE LA EXPANSIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN EN MERCADOS ELÉCTRICOS – ESTADO DEL ARTE

G.F. Baum*
UNSJ-CONICET
Argentina

F.G.Olsina
UNSJ-CONICET
Argentina

F.F. Garcés
UNSJ-CONICET
Argentina

G.A. Blanco
Facultad Politécnica UNA
Paraguay

Resumen *– El presente trabajo presenta una revisión del estado del arte en el campo de la planificación de la expansión de los sistemas de transmisión de energía eléctrica. Se identifican dos grandes áreas donde se han desarrollado avances relevantes en esta temática. Por un lado, metodologías y herramientas de planificación y evaluación de proyectos de inversión en activos reales. Por el otro, la descripción y modelación del comportamiento de largo plazo de los mercados eléctricos, haciendo énfasis en la coordinación e interacción de la expansión del sistema de generación con la expansión del sistema de transmisión.*

Palabras clave:Planificación – Transmisión – Generación– Valuación–Inversiones– Comportamiento estratégico–Incertidumbres

1 INTRODUCCIÓN

Con el fin de introducir mayores niveles de eficiencia en los sistemas eléctricos, muchos países han optado por reestructurar sus sistemas de suministro verticalmente integrados, operados y planificados centralmente, estableciendo estructuras de mercado y un esquema de decisiones descentralizadas, lo cual ha originado nuevos desafíos en la operación y planificación del sistema.

Un problema aún no totalmente resuelto es el desarrollo adecuado y oportuno de las redes detransmisión, la cual resulta una infraestructura de fundamental importancia para permitir la libre competencia en los sectores de generación y comercialización, así como para garantizar un suministro económico confiable y con la calidad requerida.

La complejidad del problema de la planificación de redes de transmisión deriva de: las importantes economías de escala presentes en estos sistemas, las incertidumbres asociadas con la evolución de las variables involucradas en el problema incluyendo las referidas al desarrollo de los sistemas de generación; la casi total irreversibilidad de las inversiones en transmisión de energía eléctrica y la falta de adecuada evaluación de la flexibilidad en la toma de decisiones en los procedimientos usualmente empleados para la valuación de inversiones[1].

Si bien, en la literatura actual existen muchas e importantes contribuciones referidas a la planificación de la expansión, se puede advertir que, en general, los trabajos relativos a la optimización de la expansión del sistema de transporte considerando su interacción con el sistema de generación, se enfocan mayormente en la adecuada modelación del comportamiento de largo plazo de los mercados, adoptando los procedimientos tradicionales para la valuación de inversiones. Mientras que los trabajos con énfasis en la valuación de inversiones en activos reales considerando adecuadamente incertidumbres y flexibilidad en la toma de

*gbaum@iee.unsj.edu.ar

decisiones, se ocupan esencialmente de las herramientas de cálculo modernas, basadas en el análisis de opciones reales[2].
Por esta razón, en el presente trabajo se realiza una revisión del estado del arte, analizando los trabajos científicos recientes y relevantes en relación con la planificación de la expansión de los sistemas de transmisión con énfasis en las dos áreas mencionadas. Por un lado, metodologías y herramientas de planificación y evaluación de proyectos de inversión en activos reales, mediante herramientas conocidas como: Valor Presente Neto, Opciones Reales, etc. Y por el otro, la descripción y modelación del comportamiento de largo plazo de los mercados eléctricos, haciendo énfasis en la coordinación e interacción estratégica con la expansión del sistema de generación y transmisión,mediante distintos enfoques metodológicos.
Este artículo está estructurado de la siguiente manera: en la Sección 2 se describe básicamente las características del problema. A continuación, en la Sección 3 se detallan artículos relevantes que conforman el estado del arte. Finalmente, las conclusiones son presentadas en la Sección 4.

2 CARACTERÍSTICAS DEL PROBLEMA

2.1 Herramientas de evaluación de proyectos

Las herramientas de evaluación de proyectos son instrumentos que proveen información relevante para justificar la toma de decisiones. Es de fundamental importancia que las herramientas de evaluación destinadas a la planificación de sistemas eléctricos de largo plazo consideren problemas asociados a la economía de escala, parcial o total irreversibilidad, incertidumbres aleatorias y no aleatorias y representación del comportamiento estratégicos de los participantes del mercado. Además, las metodologías deberían ser capaces de capturar adecuadamente el valor de la flexibilidad para las diferentes alternativas.
Herramientas tradicionales de valuación como el Valor Presente Neto (VPN) no son capaces de evaluar este tipo de proyectos debido a que no contemplan la dinámica de decisiones a medida que las incertidumbres se van resolviendo, no cuantifican el valor de la flexibilidad y tampoco representan el comportamiento estratégico de los agentes.
Actualmente el Análisis de las Opciones Reales (*Real Options Analysis*, ROA) permite capturar el valor de la flexibilidadde diferentes alternativas de proyectos considerando los problemas fundamentales típicos como los mencionados anteriormente. Gracias a este enfoque, los planes de inversión pueden ser modificados dinámicamente en función al arribo de nueva información como consecuencia de la resolución (parcial o total) de la incertidumbre. Sin embargo, esta herramienta por sí sola, no es capaz de representar el comportamiento estratégico de los agentes.

2.2 Modelación de largo plazo de los mercados eléctricos

Enfoques diferentes han surgido para modelar el comportamiento de los agentes o participantes del mercado. Por un lado el enfoque de equilibrios representados en el marco de la Teoría de Juego (*GameTheory*, GT), la cual permite estudiar interacciones en estructuras formalizadas de incentivos (los llamados «juegos») y llevar a cabo procesos óptimos de decisión. Y por otro lado los enfoques simulativos. Por ejemplo,la Dinámica de Sistemas (*System Dynamics*, SD) permite analizar y modelar el comportamiento temporal de un sistema en entornos complejos. Se basa en la identificación de los lazos de realimentación entre los elementos, como también en las demoras en la información y materiales dentro del sistema; y finalmente el Modelo Basado en Agentes (*Agent-BasedModeling*, ABM), el cual consiste en un tipo de modelo computacional que permite simular las acciones e interacciones de individuos autónomos dentro de un entorno, y permite determinar qué efectos producen en el conjunto del sistema y el comportamiento emergente del mismo. Sin embargo ninguno de estos enfoques relacionado al comportamiento de los agentes valora la flexibilidad en los proyectos de inversión.

2.2.1 Planificación de largo plazo del sistema de transmisión

La operación y planificación del sistema de transmisión adquiere diferentes características según importantes perspectivas:

Perspectiva A: Enfoque regulado

El rol en la expansión del sistema de transmisión (ST) es brindar un entorno competitivo y no discriminatorio a todos losparticipantes del mercado. El ST debe evolucionar de acuerdo a las solicitaciones requeridas por el

mercado. Las formulaciones típicas de la expansión son por un lado la minimización de los costos de transmisión (inversión y operación) y por otro lado la maximizacióndel beneficio social cumpliendo con restricciones técnicas estáticas y dinámicas para asegurar la operación segura y eficiente.

Perspectiva B: Enfoque mercantil

Una empresa de transmisión con fines de lucro (transportista) tiene como objetivo maximizar el beneficio económico conseguido a través de laRemuneración Variable de la Transmisión(RVT), producidos en función de la potencia transmitida en la línea de transmisión y la diferencia de precios nodales en sus extremos.
Ambos perspectivas están sujetos a diferentes restricciones: expansión del sistema de generación,mecanismos de regulación,incertidumbres aleatorias y no aleatorias; entre otros.

2.2.2 Planificación de largo plazo del sistema de generación

La planificación delaexpansión del sistema de generación (*GenerationExpansionPlanning*, GEP), es de vital importancia en la planificación de la expansión del sistema de transmisión (*TransmissionExpansionPlanning*, TEP*)*, debido a la fuerte interdependencia para la toma de decisiones que estas implican.
El nuevo paradigma de la liberalización de los mercados eléctricos ha traído consigo mayor complejidad en la modelación de la expansión del sistema de generación, tales como: tamaño y ubicación de la nueva planta, tiempo de inversión, tecnología a instalar, etc., y además, considerando que el principal objetivo de cada agente generador es de maximizar sus beneficios.

A continuación serán presentados artículos relevantes enfocados a aportes significativos individuales para la conformación de un planteamiento global.

3 ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

El estado del arte de la planificación en la expansión del sistema de transmisión y generación puede ser abordado desde varios enfoques, comenzando por: -la formulación del TEP y GEP; -el método de resolución; desde diferentes perspectivas regulatorias considerando:-confiabilidad;-incertidumbre;-impactos ambientales;-potencia reactiva en líneas;-generación distribuida, dispositivos *Flexible AlternatingCurrentTransmissionSystem*(FACTS), *Demand-Side Management*(DSM); y finalmente desde el punto de vista de la modelación de los participantes del mercados; y la coordinación del TEP y el GEP descriptos en[3].
Sin embargo, en este artículo se pretende abordar desde dos enfoques específicos. Por un lado, metodologías y herramientas de planificación y valuación de proyectos de inversión en activos reales. Por el otro, el abordaje se realiza en función a la descripción y modelación del comportamiento de largo plazo de los mercados eléctricos, haciendo énfasis en la coordinación e interacción estratégica con la expansión del sistema de generación.

3.1 Metodologías con énfasis en evaluación de proyectos

En esta Sección se muestra la clasificación de artículos considerando: métodos de resolución, aplicación y participación de agentes. Se hizo énfasis en la recopilación de artículos que tiene en común el enfoque de Análisis de Opciones Reales. (verFig. **1-**(a)).

3.1.1 Opciones Reales

En las últimas dos décadas, el campo de las finanzas corporativas relativo a la valuación de activos reales propuso mediante una extensión de la teoría de opciones financieras la forma adecuada de valuar proyectos de inversión bajo incertidumbre que son parcial o totalmente irreversibles y presentan flexibilidad para su ejecución [2].Este nuevo marco conceptual de evaluación se lo conoce actualmente como ROA.

Opciones Reales & Teoría de Juegos

En[4]se extendió el potencial del análisis de opciones incorporando las principales formas oligopólicas de organización industriales y GT para capturar las dimensiones competitivas y las interacciones emergentes de las decisiones estratégicas de las firmas. En[5] se desarrolló específicamente dos tipos de interacciones entre firmas: cooperativas y no cooperativas, y tanto en este trabajo como[6]describen la estrategia de anticipación

en un juego de dos participantes.Es decir, las ventajas pueden ser capturadas por uno de los participantes al mover primero (*first mover*). Posteriormente, se desarrollaron en este marco, numerosos ejemplos de aplicacionesa diferentes industrias, ej.: I+D, industrias de alta tecnología como farmacéuticas y en inversiones de gran envergadura, como exploración de petróleo, y expansión de aeropuertos[7-10].

En[11] se presentó una investigación del estado del arte en aplicación del ROAen proyectos de generación eléctrica y energía renovable. En los trabajos[12-14]mediante el ROA se evalúan proyectos alternativos para hacer frente a problemas del sistema de distribución considerando su evolución incierta. Es importante mencionar que para[12]fue considerada la generación distribuida como alternativa de solución y en[13]fue incorporado el enfoque de GT para analizar la interacción entre el regulador y el operador del sistema de distribución.

Una interesante propuesta para incentivar la inversión en líneas de transmisión fue presentada en [15],donde se planteó un enfoque que evalúa una inversión privada guiada por señales de mercado (mercante) con la opción de cambiar a una remuneración regulada (opción de cambio) en casos de un desarrollo desfavorable de las incertidumbres del mercado eléctrico.

En [16]se introduce los dispositivos FACTS como una alternativa adicional de invertir en el sistema de transmisión, estos dispositivos son evaluados en conjunto con las líneas mediante las opciones reales con el objetivo de verificar la flexibilidad que incorpora al proyecto para hacer frente a los altos niveles de incertidumbre que caracteriza las inversiones en el sistema de transmisión.

En[17] se desarrolló un trabajo de expansión del sistema de transmisión en el marco de un sistema verticalmente integrado. El enfoque fue abordado mediante ROA en conjunto con GT para seleccionar la alternativa óptima considerando incertidumbres aleatorias.

# Paper	Métodos de Resolución					Aplicación			Agentes	
	ROA	GT	SD	ABM	MPEC	General	Sist Elec. General	Sist. Elec. Expansión	GENERACIÓN	TRASMISIÓN
[2]	✓					✓				
[4-10]	✓	✓				✓				
[11]	✓						✓		✓	
[12-14]	✓	✓						✓		
[15, 16]	✓							✓		✓
[17]	✓	✓						✓		✓

(a)

Métodos de Resolución:
ROA = Real Option Analysis
GT = Game Theory
SD = System Dynamics
ABM = Agent-Based Modeling
MPEC = Mathematical Problems with Equilibrium Constraints

# Paper	Métodos de Resolución					Aplicación			Agentes	
	ROA	GT	SD	ABM	MPEC	General	Sist Elec. General	Sist. Elec. Expansión	GENERACIÓN	TRASMISIÓN
Experiencia en sistemas eléctricos										
[18]		✓					✓			
[19, 20]				✓			✓			
Experiencia en expansión del sistema de generación										
[21, 22]			✓					✓	✓	
[23]		✓	✓					✓	✓	
[24]		✓			✓			✓	✓	
[25]				✓				✓	✓	
Experiencia en expansión del sistema de transmisión considerando agentes										
[26]		✓						✓		✓
[27]					✓			✓		✓
Experiencia en interacción entre agentes de generación y transmisión										
[28]		✓					✓		✓	✓
[29, 30]				✓			✓		✓	✓
[31]		✓						✓		✓
Experiencia en expansión del sistema de transmisión considerando agentes de generación expandiéndose										
[32-34]		✓						✓	✓	✓
[35]		✓			✓			✓	✓	✓
[36-39]		✓			✓			✓	✓	✓
[40]					✓			✓	✓	✓
[41]			✓					✓	✓	✓
[42-44]				✓				✓	✓	✓

(b)

Fig. 1(a) Artículos agrupados considerando evaluación de proyectos. (b) Artículos agrupados considerando comportamiento del mercado.

3.2 Metodologías con énfasis en la modelación de los mercados eléctricos

En esta Sección se muestra la clasificación de artículos considerando: métodos de resolución, aplicación y participación de agentes.Se hizo énfasis en la recopilación de artículos que tiene en común por lo menos algún grado de representación de comportamientos de agentes individuales. (verFig. **1**-(b)).
A pesar de no implementar el enfoque del ROA para considerar el valor de la flexibilidad, muchos trabajos relacionados al sector eléctrico han sido realizados con énfasis en otros aspectos importantes, tales como la modelación de los agentes y su interacción.

3.2.1 Experiencia en sistemas eléctricos

En este apartado se presentan trabajos en el sector eléctrico en general. Por ejemplo, en[18]mediante Teoría de Juegos se modelaron distintas estrategias de los agentes demostrando las ventajas y desventajas del juego cooperativo. En[19]mediante la modelación basada en Sistemas Multi-agentes se abordó la coordinación descentralizada de controladores de flujos de potencia, donde cada agente evalúa la información y toma decisiones en función de conflictos de control.Otro ejemplo utilizando sistemas Multi-agentes se ilustra

en[20] para contribuir al estudio de negociaciones estratégicas, donde adicionalmente se propone el aprendizaje de agentes autónomos.

3.2.2 Experiencia en expansión del sistema de generación

Debido a la alta importancia que tiene el sistema de generación en relación con la interacción con el sistema de transmisión, se citan a continuación diferentes trabajos desarrollados en dicha área haciendo énfasis en el comportamiento dinámico de la expansión del parque de generadores. En[21, 22] se utilizó SD como herramienta para la toma de decisiones en expansión del sistema de generación. Mediante dicha metodología se logró simular la dinámica de precios de mercado de largo plazo y la posible reacción de los agentes competidores. Adicionalmente incertidumbres en el crecimiento de la demanda, costos de inversión y operación fueron también tomados en consideración. En[23] se combinó SD con GT para representar estrategias de compañías y políticas regulatorias, este trabajo se enfocó en hacer una diferenciación de compañías cuando calculaban sus rentabilidades esperadas. En[24] se propuso mediante Teoría de Juegos un enfoque de programación bi-nivel donde se formuló maximizar el beneficio de largo plazo de la inversión en generación considerando equilibrio competitivo y oligopolista (equilibrio de Cournot) del mercado eléctrico. Finalmente, en[25] se desarrolló una metodología basada en Sistema Multi-agentes que modela el proceso de transacción bilateral entre las empresas generadoras y las empresas consumidoras a nivel de mercado mayorista, teniendo en cuenta las posibles compensaciones entre el mercado *spot* y el bilateral. La negociación es impulsada en dos dimensiones: precios y cantidades de los contratos mensuales. Al representar ese sub-problema de corto plazo, se generaron señales nuevas que sirven al problema de mediano y largo plazo para la toma de decisión en expansión de la capacidad de generación.

3.2.3 Experiencia en expansión del sistema de transmisión considerando agentes

El común de los trabajos a continuación radica en el enfoque de expandir el sistema de transmisión considerando la incertidumbre y reacciones de agentes que participan en mercado. Por ejemplo, en[26] se evaluó la expansión del sistema de transmisión considerando incertidumbres en la vinculación a la red de industrias electro-intensivas. Para resolver dicho problema se utilizó un modelo basado en GT para representar la interacción de la industria y revelar los incentivos en la toma de decisión. En[27] mediante el enfoque de programación bi-nivel se formuló el problema como la minimización de los costos de transmisión considerando como sub-problema la factibilidad del comercio de energía.

3.2.4 Experiencia en interacción entre agentes de generación y transmisión

En este apartado se pretende presentar trabajos que presentaron algún grado de relación entre el sistema de transmisión y sistemas de generación. Por ejemplo, en[28] mediante el enfoque de juegos cooperativos se representó la relación entre agentes en un problema de distribución de costos de peajes de transporte. En[29]se desarrolló un modelo de simulación basado en Sistemas Multi-agentes para describir el comportamiento estratégico de los agentes generadores al ofertar repetidamente en el mercado diario de electricidad, considerando el efecto que provocan los demás agentesen las congestiones del sistema de transmisión. En[30], si bien no está orientado a la expansión de la generación, se logró diseñar una arquitectura de Multi-agentes para replicar actividades de generación de energía en un mercado eléctrico descentralizado pudiendo así representar coaliciones (ofertas y negociaciones) con el sistema de transmisión bajo incertidumbres.

3.2.5 Experiencia en expansión del sistema de transmisión considerando agentes de generación expandiéndose

En esta sección se presentan trabajos de expansión de la transmisión considerando la interacción de la expansión de la generación. Se describirán como dos grupos.

En el primer grupo serán presentados los modelos de equilibrio. En[31]se evaluaron proyectos de expansión de transmisión considerando asignación de costos del sistema conforme al beneficio entre los participantes. Se cuantificó el beneficio que obtiene cada participante a través de representación de escenarios y conceptos de equilibrios en el marco de la Teoría de Juegos. Los trabajos [32, 33] fueron desarrollados de manera similar a [31] incorporando adicionalmente estrategias de anticipación. En[34] se aplica el enfoque de GT, formulando el problema como la minimización de costos de transmisión considerando la calidad, confiablidad y el sistema de peajes del sistema de transporte para guiar la toma de decisión de la expansión

de la generación. En los trabajos[35-39] se utiliza GT en conjunto con *MathematicalProgramwithEquilibriumConstraints*(MPEC), el cual se trata de un sistema de optimización multinivel, es decir, un problema de optimización sujeto a restricciones que son en sí un problema de optimización. En este caso, la función objetivo primaria se fórmula como la maximización del beneficio social al expandir el sistema de transmisión sujeto a la optimización de la expansión del sistema de generación. La implicancia del beneficio social es determinada resolviendo el juego de Nash-Cournot que caracteriza el equilibrio de mercado con respecto a la cantidad producida y a los precios. En[40], el problema de expansión fue representado a través del enfoque de descomposición de Benders, con un problema maestro de optimización del beneficio conjunto de la transmisión y la generación, considerando restricciones de confiabilidad del sistema. Los multiplicadores de Lagrange permiten una retroalimentación de información de manera a replicar el cambio en el comportamiento de los agentes.
En el segundo grupo se presentan los modelos simulativos. Por ejemplo en[41], siguiendo la misma línea que se propuso en[21], es decir, el estudio de un modelo macroscópico de la expansión del sistema de generación, se estudió los efectos de la interconexión entre dos mercados, enfocado a la efecto de retener capacidad estratégica en las líneas de transmisión. Finalmente en[42-44]mediante el enfoque simulativo basado en Sistemas Multi-agentes se incorporaron comportamientos individuales y autónomos de los participantes del mercado, reflejando así decisiones, capacidades y limitaciones de información propias de cada agente. Esto hizo posible que la modelación fuera a nivel microscópico[1] permitiendo reflejar así a la heterogeneidad de los mismos respecto de tamaño, información, reglas de decisión y capacidad de aprendizaje.

4 CONCLUSIÓN

En este trabajo, se ha presentado una revisión de artículos en el área de la planificación de los sistemas de transmisión, clasificadossobre dos grandes grupos.
Por un lado, existen artículos relacionados a la evaluación de proyectos en activos reales, donde se destacan el análisis de las opciones reales en conjunto con la teoría de juegos, las cuales mostraron sus ventajas con respecto a la modelación clásica de evaluación de proyectos de inversiones tales como el VPN y laTasa Interna de Retorno. Cabe aclarar que mediante estas metodologías el valor del proyecto se modifica debido a la posibilidad de poder implementar estrategias en diferentes momentos de la vida útil del proyecto.
Y por otro lado, artículos relacionados a la descripción y modelación del comportamiento de largo plazo de los mercados eléctricos con énfasis en la coordinación e interacción de la expansión del sistema de generación, donde se pudo destacar:1)Metodologías con hipótesis de una optimización realizada centralmente, competencia perfecta, racionalidad, etc.,como por ejemplo teoría de juegos. 2)Metodologías basadasenmodelos simulativos, ya sea dinámica de sistemas (nivel macroscópico) o modelos basados en agentes (nivel microscópico), los cuales presentan características como la capacidad de incorporar retroalimentación, racionalidad limitada, capacidades financieras, posibilidad de aprendizaje, etc., propias de cada agente.

[1]Nivel microscópico: Modelación a nivel individualdetallando las heterogeneidades del comportamiento de cada agente.

5 REFERENCIAS

[1] D. S. Kirschen and G. Strbac, *Fundamentals of power system economics*: John Wiley & Sons, 2004.
[2] A. K. Dixit and R. S. Pindyck, "Investment under uncertainty, 1994," *Princeton UP, Princeton,* 1994.
[3] R. Hemmati, R.-A. Hooshmand, and A. Khodabakhshian, "State-of-the-art of transmission expansion planning: Comprehensive review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* vol. 23, pp. 312-319, 2013.
[4] H. T. Smit and L. Trigeorgis, *Strategic investment: Real options and games*: Princeton University Press, 2012.
[5] Z. Hong-bo and L. Jian, "Research on Competitive Investment under Uncertainty: An Expansion Model Based on Real Options and Game Theory," in *Management Science and Engineering, 2006. ICMSE'06. 2006 International Conference on*, 2006, pp. 1842-1846.
[6] J. J. J. Thijssen, "Preemption in a real option game with a first mover advantage and player-specific uncertainty," *Journal of Economic Theory,* vol. 145, pp. 2448-2462, 2010.
[7] N. Ferreira, J. Kar, and L. Trigeorgis, "Option games: the key to competing in capital-intensive industries," *Harvard Rusiness Review,* vol. 87, 2009.
[8] H. T. Smit and L. Ankum, "A real options and game-theoretic approach to corporate investment strategy under competition," *Financial Management,* pp. 241-250, 1993.
[9] S. H. Martzoukos and E. Zacharias, "Real option games with incomplete information and spillovers," in *Real Options Conference*, 2002.
[10] H. T. Smit, "Infrastructure investment as a real options game: the case of European airport expansion," *Financial Management,* vol. 32, pp. 27-57, 2003.
[11] E. Martínez Ceseña, J. Mutale, and F. Rivas-Dávalos, "Real options theory applied to electricity generation projects: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* vol. 19, pp. 573-581, 2013.
[12] E. Buzarquis, G. Blanco, F. Olsina, and F. Garcés, "Valuing investments in distribution networks with DG under uncertainty," in *Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America (T&D-LA), 2010 IEEE/PES*, 2010, pp. 341-348.
[13] M. Osthues, G. Blanco, and C. Rehtanz, "Strategic Investments and Regulatory Framework for Distribution System Planning under Uncertainty," in *IEEE Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS)*, 2012.
[14] J. von Haebler, M. Osthues, C. Rehtanz, and G. Blanco, "Investment strategies as a portfolio of real options for distribution system planning under uncertainty," in *Power Tech, 2013 IEEE Grenoble*, 2013, pp. 1-6.
[15] G. Blanco, R. Pringles, F. Olsina, and F. Garcés, "Evaluación de un enfoque mixto mercante-regulado para expansión en la red de transporte vía opciones reales," in *XIII Encuentro Regional Iberoamericano del CIGRÉ*, 2009.
[16] G. Blanco, F. Olsina, F. Garcés, and C. Rehtanz, "Real option valuation of FACTS investments based on the least square Monte Carlo Method," *IEEE Transactions on Power Systems,* vol. 26, pp. 1389-1398, 2011.
[17] S. Lopez, A. Aguilera, and G. Blanco, "Transmission Expansion Planning under Uncertainty: An Approach based on Real Option and Game Theory against Nature," *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina),* vol. 11, pp. 566-571, 2013.
[18] G. Blanco and L. Aguiar, "Pensando estratégicamente sobre la renegociación del tratado de Itaipú: una visión desde la teoría de juegos," presented at the XIV Encuentro Regional Iberoamericano del CIGRÉ, Ciudad del Este XIV, 2011.
[19] U. Hager, S. Lehnhoff, C. Rehtanz, and H. Wedde, "Multi-agent system for coordinated control of facts devices," in *Intelligent System Applications to Power Systems, 2009. ISAP'09. 15th International Conference on*, 2009, pp. 1-6.
[20] H. F. Wedde, S. Lehnhoff, K. M. Moritz, E. Handschin, and O. Krause, "Distributed learning strategies for collaborative agents in adaptive decentralized power systems," in *Engineering of Computer Based Systems, 2008. ECBS 2008. 15th Annual IEEE International Conference and Workshop on the*, 2008, pp. 26-35.
[21] F. Olsina, F. Garcés, and H.-J. Haubrich, "Modeling long-term dynamics of electricity markets," *Energy Policy,* vol. 34, pp. 1411-1433, 2006.
[22] A. Pereira and J. Saraiva, "A decision support tool for generation expansion planning in competitive markets using system dynamics models," in *Power Tech, 2009 IEEE Bucharest*, 2009, pp. 1-7.
[23] J. J. Sánchez, J. Barquín, E. Centeno, and A. López-Pea, "A multidisciplinary approach to model long-term investments in electricity generation: Combining system dynamics, credit risk theory and game theory," in *Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE*, 2008, pp. 1-8.
[24] S. Wogrin, E. Centeno, and J. Barquín, "Generation capacity expansion in liberalized electricity markets: a stochastic MPEC approach," *IEEE Transactions on Power Systems,* vol. 26, pp. 2526-2532, 2011.
[25] A. Lahlou, "Multi-agent modelling of electricity markets: Transaction processes and generation capacity expansion under competition," ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE, 2007.
[26] G. Blanco, M. García, and F. Fernandéz, "Valuing Interconnection Investments of Electro-intensive Industries under External Uncertainties and strategic behavior," *XII SEPOPE, Rio de Janeiro, Brazil,* 2012.

[27] L. P. Garcés, A. J. Conejo, R. García-Bertrand, and R. Romero, "A bilevel approach to transmission expansion planning within a market environment," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 24, pp. 1513-1522, 2009.
[28] F. Sore, H. Rudnick, and J. Zolezzi, "Definition of an efficient transmission system using cooperative games theory," *IEEE Transactions on Power Systems,* vol. 21, pp. 1484-1492, 2006.
[29] P. Frezzi, F. Garcés, and H.-J. Haubrich, "Analysis of short-term strategic behavior in power markets," *Encontro Regional Ibero-americano do CIGRÉ,* 2007.
[30] E. Gnansounou, S. Pierre, A. Quintero, J. Dong, and A. Lahlou, "A multi-agent approach for planning activities in decentralized electricity markets," *Knowledge-Based Systems,* vol. 20, pp. 406-418, 5// 2007.
[31] J. D. Molina, J. Contreras, and H. Rudnick, "A Principal-Agent Approach to Transmission Expansion - Part I: Regulatory Framework," *IEEE Transactions on Power Systems,* vol. 28, pp. 256-263, 2013.
[32] N. Hariyanto, M. Nurdin, Y. Haroen, and C. Machbub, "Decentralized and simultaneous generation and transmission expansion planning through cooperative game theory," *Int J Electr Eng Inf,* vol. 1, pp. 149-164, 2009.
[33] E. E. Sauma and S. S. Oren, "Economic criteria for planning transmission investment in restructured electricity markets," *IEEE Transactions on Power Systems,* vol. 22, pp. 1394-1405, 2007.
[34] R. Serrano, J. Zolezzi, H. Rudnick, and J. Araneda, "Private planning of transmission expansion through cooperative games," in *Power Tech, 2007 IEEE Lausanne*, 2007, pp. 903-908.
[35] E. E. Sauma and S. S. Oren, "Proactive planning and valuation of transmission investments in restructured electricity markets," *Journal of Regulatory Economics,* vol. 30, pp. 261-290, 2006.
[36] M. Jenabi, S. M. T. Fatemi Ghomi, and Y. Smeers, "Bi-level game approaches for coordination of generation and transmission expansion planning within a market environment," *IEEE Transactions on Power Systems,* vol. 28, pp. 2639-2650, 2013.
[37] S. Jin and S. M. Ryan, "A Tri-Level Model of Centralized Transmission and Decentralized Generation Expansion Planning for an Electricity Market—Part I," *IEEE Transactions on Power Systems,* 2014.
[38] D. Pozo, J. Contreras, and E. Sauma, "If you build it, he will come: Anticipative power transmission planning," *Energy Economics,* vol. 36, pp. 135-146, 2013.
[39] D. Pozo, E. E. Sauma, and J. Contreras, "A three-level static MILP model for generation and transmission expansion planning," *IEEE Transactions on Power Systems,* vol. 28, pp. 202-210, 2013.
[40] J. H. Roh, M. Shahidehpour, and L. Wu, "Market-based generation and transmission planning with uncertainties," *IEEE Transactions on Power Systems,* vol. 24, pp. 1587-1598, 2009.
[41] O. A. Ojeda, F. Olsina, and F. Garcés, "Simulation of the long-term dynamic of a market-based transmission interconnection," *Energy Policy,* vol. 37, pp. 2889-2899, 2009.
[42] J. H. Roh, M. Shahidehpour, and Y. Fu, "Market-based coordination of transmission and generation capacity planning," *IEEE Transactions on Power Systems,* vol. 22, pp. 1406-1419, 2007.
[43] J. Yen, Y. Yan, J. Contreras, P.-C. Ma, and F. F. Wu, "Multi-agent approach to the planning of power transmission expansion," *Decision Support Systems,* vol. 28, pp. 279-290, 2000.
[44] A. Motamedi, H. Zareipour, M. O. Buygi, and W. D. Rosehart, "A transmission planning framework considering future generation expansions in electricity markets," *IEEE Transactions on Power Systems,* vol. 25, pp. 1987-1995, 2010.